



Université
de Liège



Unité d'hydrologie et d'hydraulique agricole
Génie rural et environnemental

ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES SOLS

Notes de cours provisoires – année académique 2010-2011

Aurore Degré

Table des matières

CHAPITRE 1. GÉNÉRALITÉS.....	1
1.01 LE CADRE DU COURS	1
1.02 OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE	1
CHAPITRE 2. CARACTERISATION PHYSIQUE DU SOL	2
2.01 DESCRIPTION GENERALE DES SOLS.....	2
2.02 CARACTERISTIQUES DE LA PHASE SOLIDE.....	2
2.02.1 <i>Dimensions et formes des particules de sol.....</i>	3
2.02.2 <i>Examens minéralogiques - Bref rappel.....</i>	6
2.02.3 <i>La surface spécifique</i>	6
2.02.4 <i>La structure du sol.....</i>	7
2.02.5 <i>La porosité totale et le poids spécifique apparent sec</i>	9
2.02.6 <i>Notion de poids spécifique apparent sec maximum.....</i>	14
2.02.7 <i>Mesure et évaluation de la porosité totale et du poids spécifique apparent sec</i> <i>16</i>	
2.02.7.1 Méthodes de mesure directes.....	16
2.02.7.2 Evaluations indirectes.....	16
2.02.8 <i>Facteurs majeurs influençant la structure des sols</i>	18
2.02.8.1 Matière organique (M.O.).....	18
2.02.8.2 Le travail du sol	20
2.02.8.3 Le développement racinaire.....	22
2.02.8.4 Le régime climatique.....	22
2.02.8.5 Les rendements culturaux	22
2.02.9 <i>Quelques lectures</i>	23
2.03 CARACTERISTIQUES DE LA PHASE LIQUIDE.....	24
2.03.1 <i>Tension superficielle.....</i>	24
2.03.2 <i>Angle de contact</i>	25
2.03.3 <i>Capillarité</i>	25
2.03.4 <i>L'humidité du sol</i>	27
2.03.4.1 Définition de la teneur en eau (humidité) d'un sol	27
2.03.4.2 Mesures de l'humidité du sol	29
A Méthode gravimétrique.....	29
B Principe	30
C Précision de la mesure	30
2.03.4.3 La méthode TDR (time domain reflectometry)	30
A Principe de fonctionnement.....	31
B Caractéristiques	32
2.03.4.4 Les sondes de capacité.....	33
2.03.4.5 La méthode neutronique.....	33
2.04 CARACTERISTIQUES DE LA PHASE GAZEUSE	34
2.05 LIAISONS ENTRE L'EAU ET LA MATRICE DU SOL	36
2.05.1 <i>Etat énergétique de l'eau du sol</i>	36
2.05.2 <i>Forces exercées sur l'eau du sol.....</i>	36
2.05.2.1 Les forces résultant des pressions p, dites interstitielles, au sein de la phase liquide.....	36
2.05.2.2 Les forces de sorption (à très faible rayon d'action)	37
2.05.2.3 Les forces externes	38
2.05.3 <i>Potentiel total et potentiel matriciel</i>	38
2.05.4 <i>Influence des sels dissous - Notion de potentiel osmotique.....</i>	42
2.05.5 <i>Autres terminologies utilisées pour le potentiel capillaire.....</i>	43
2.06 LIAISON ENTRE POTENTIEL MATRICIEL ET TENSION DE VAPEUR DE LA PHASE GAZEUSE	43
2.07 PROFIL D'HUMIDITE EN EQUILIBRE HYDROSTATIQUE DANS UN SOL NON SATURE	44

2.07.1	Cas n°1 : le sol non saturé (ns) surmonte une nappe profonde	46
2.07.2	Cas n°2 : le sol non saturé surmonte une nappe saturée peu profonde.....	46
2.08	VERIFICATION EXPERIMENTALE DE L'EXISTENCE D'UN POTENTIEL DE CAPILLARITE	48
2.09	MESURE DE LA RELATION TENEUR EN HUMIDITE - POTENTIEL MATRICIEL (COURBE DE PF)	
	50	
2.09.1	Mesure par tensiométrie, en laboratoire	50
2.09.2	Mesure par l'appareil de Richards	51
2.09.3	Mesures in situ	53
2.09.4	Remarque : Les Blocs résistifs	54
2.10	INTERPRETATION AGRONOMIQUE DE LA COURBE DE PF	55
2.10.1	Le point de flétrissement permanent	55
2.10.2	La capacité au champ (field capacity).....	56
2.10.3	La capacité en bac	56
2.10.4	Distribution de la porosité	57
2.10.4.1	Porosité totale.....	57
2.10.4.2	Distribution des pores et Carbone organique.....	58
CHAPITRE 3.	DYNAMIQUE EN MILIEU SATURE	60
3.01	ECHELLE MICROSCOPIQUE	60
3.02	ECHELLE MACROSCOPIQUE	62
3.02.1	Le gradient de potentiel.....	64
3.02.2	Unités de conductivité hydraulique	65
3.02.3	Limites d'application de la Loi de Darcy.....	66
3.02.3.1	Ecoulement laminaire	66
3.02.3.2	Cas des argiles.....	67
3.02.3.3	Remarque.....	67
3.03	MESURE DU COEFFICIENT DE CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE.....	67
3.03.1	Mesures en laboratoire.....	67
3.03.2	Mesures in situ	69
3.03.2.1	Méthode du trou de sondage	69
3.03.2.2	Les essais de pompage.....	70
3.04	PERMEABILITE GLOBALE D'UN MILIEU HETEROGENE	71
3.05	L'ECOULEMENT DANS LES MILIEUX FISSURES	74
3.06	L'EQUATION DE CONTINUTE	75
3.07	L'EQUATION GENERALE DE L'HYDRODYNAMIQUE EN MILIEU SATURE.....	76
3.07.1	Enoncé de l'équation.....	76
3.07.2	Les conditions aux limites en vue de la résolution	77
3.07.2.1	Surface imperméable.....	77
3.07.2.2	Surface filtrante	77
3.07.2.3	Surface libre	77
3.07.2.4	Surface de suintement.....	77
3.07.3	Résolutions de l'équation de Laplace	78
3.07.3.1	Résolution analytique	78
3.07.3.2	Résolution numérique.....	79
3.08	CAS PRATIQUE D'ECOULEMENT PERMANENT	81
3.08.1	Profondeur minimale de la fiche	82
3.08.2	Equipotentiellles et lignes de courant	83
3.08.2.1	Mise en équations	83
3.08.2.2	Intervalles de calcul	84
3.09	ACTION DE L'EAU INTERSTITIELLE SUR LE MILIEU POREUX	87
3.09.1	Les contraintes effectives et les pressions neutres.....	87
3.09.2	Le soulèvement hydrostatique.....	88
3.09.3	Les pressions de courant	89
3.09.4	Le phénomène de Renard.....	90
3.09.5	Le cas particulier des terrains sans cohésion	91

3.10	TASSEMENT DU MILIEU POREUX, COLMATAGE ET SUFFOSION	92
CHAPITRE 4.	DYNAMIQUE EN MILIEU NON SATURE	94
4.01	INTRODUCTION	94
4.02	GENERALISATION DE LA LOI DE DARCY EN MILIEU NON SATURE	95
4.02.1	<i>Loi de Darcy généralisée.....</i>	95
4.02.2	<i>Conductivité hydraulique en milieu non saturé</i>	96
4.03	GENERALISATION DE LA LOI DE CONTINUITE EN MILIEU NON SATURE	97
4.04	L'EQUATION DE RICHARDS	97
4.04.1	<i>Enoncé de l'équation.....</i>	97
4.04.2	<i>Résolution numérique de l'équation de Richards.....</i>	98
4.04.2.1	Introduction.....	98
4.04.2.2	Choix de la méthode numérique	98
4.04.2.3	Modélisation par différences finies.....	99
4.04.2.4	Modélisation par éléments finis.....	101
A	La formulation variationnelle.....	101
B	L'approche de Galerkin	101
C	Le calcul élémentaire	103
4.05	APPLICATION : CAS PRATIQUE D'ECOULEMENT PSEUDO-PERMANENT	104
CHAPITRE 5.	REDISTRIBUTION DE L'HUMIDITE APRES UNE INFILTRATION AU CHAMP	106
5.01	INTRODUCTION	106
5.02	INFILTRATION VERTICALE ET HORIZONTALE	107
5.03	LA REDISTRIBUTION	108
5.03.1	<i>Introduction</i>	108
5.03.2	<i>Le flux de redistribution.....</i>	108
5.03.3	<i>Position d'équilibre</i>	108
5.03.4	<i>Effet de l'hystérèse.....</i>	109
5.03.5	<i>Formulation mathématique.....</i>	109
CHAPITRE 6.	L'EVAPORATION ET LE PRELEVEMENT PAR LES PLANTES.....	112
6.01	L'EVAPORATION	112
6.02	LE PRELEVEMENT PAR LES PLANTES	114
6.02.1	<i>Continuum sol plante atmosphère.....</i>	115
6.02.2	<i>Les modèles macroscopiques</i>	118
6.02.2.1	La fonction d'extraction racinaire s.....	118
6.02.2.2	La croissance des racines	119
6.02.2.3	La croissance aérienne.....	121
6.02.3	<i>Exemple de modèle : Modèle de RITCHIE (1972).....</i>	122
CHAPITRE 7.	DYNAMIQUE DE LA STRUCTURE	123
7.01	INTRODUCTION	123
7.02	LA DYNAMIQUE NATURELLE	123
7.02.1	<i>Les précipitations</i>	123
7.02.2	<i>Cycle humidification/assèchement</i>	124
7.02.3	<i>Cycle gel/dégel.....</i>	124
7.02.4	<i>Agents biologiques.....</i>	124
7.02.5	<i>Stabilité structurale.....</i>	125
7.03	DYNAMIQUE LIEE AUX ACTIVITES HUMAINES	125
7.03.1	<i>Généralités.....</i>	125
7.03.2	<i>Déstructuration due aux tassements</i>	126
7.03.3	<i>Principes de régénération de la structure du sol.....</i>	127
CHAPITRE 8.	ANNEXES : FONCTIONS HYPERBOLIQUES	128

**LE COURS D'ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES SOLS EST DISTRIBUÉ PAR
L'OFFICE DES COURS DE L'ASSOCIATION GÉNÉRALE DES ÉTUDIANTS.**

CONTACT : AGECGBX@HOTAMIL.COM

